

低R_LOTL アンプの追求

回路解析編

低R_L 用OTLアンプの設計に当
てて、出力管の選択はきわ
めて重要で、出力管の種類によって、だ
いたいの回路構成が定まってしまうと
考えてもさしつかえありません。いま
まで多く使用されてきた設計としては
6080あるいは6336Aなどの大電流双3
極管を2~3コ並列に使用するばあい
と、12E4-Aなどの小形、ハイ・パービ
アンスの3極管を8~10コ並列に使用
するばあいがあり、前者についてはす
でに本誌上でなんどか発表したとおり
です。しかし、後者に関しては具体的
なデータにとぼしく、ときには誤って
伝えられているばあいも少なくありま
せん。後者を代表するアンプとして
は、Julius Futterman 氏の設計をあ
げねばなりません。これには非常に
変わったアイデアが多く、その動作や
特性なども原設計者の発表を参照する
より、方法がなかったわけです。

本報告は、このフッターマン・アン
プの設計について検討を加え、実用ア
ンプとしての改善の可能性を追及した
ものです。したがってここに発表する
設計例は、1コの完成された設計とし
ての意味ではなく、研究途上の1つの
記録という意味でお目にかける次第で
す。というのは、原設計のアイデアは
すこぶる風変わりなものばかりで、そ
れだけすぐれた点をそなえている反
面、実用という点で多くの欠点もも
っているからです。しかし、このような
欠点は、さらに突っこんだ研究や機材
の発達——とくに新種の出力管の出現
によって克服できるものもあります。
とくに回路構成が簡単で、中出力以下
のアンプとしては経済的にすぐれた点
をもっているのが、この形式の大きな
魅力と考えることもできましょう。

とにかく、この形式のアンプに対す
る最終的な評価はしばらくおいて、ア
ンプの動作と特性に目を注いでみるこ
とにしましょう。

フッターマン・アンプの検討

武末数馬

J. Futterman 氏の低 R_L OTL アンプ

今日 フッターマン・アンプとして知られているものには、新旧2種の設計があって、その最初のもは第1図に示すとおりです。この回路は Journal of the A. E. S の 1954 年 10 月号に発表されたもので、設計としてはかなり古いわけですが、普通の OTL アンプにくらべて非常に特異な手法が用いられている点が、注目に値します。すなわち、

1) 初段に高増幅5極管が採用され、極端に高いプレート抵抗を使用し、高い増幅度を得ている

2) 位相反転回路には PK 分割形を使用しているが、打ち消し電圧は位相反転管のカソード帰路に加えている

3) 出力部には小形のハイ・パービアンスの3極管(12B4)を多数並列に使用している

4) 帰還回路はポジ・ネガ方式となっていて、いちじるしく多量の負帰還としてある

5) 出力管はヒータを直列にしてA Cライン(117V)から直接に点火され、B電源(第1B電源)もACラインを整流した、トランスレス方式となっている

などで、低 R_L 用OTLアンプとしての高性能と、経済性の両面を同時に満足しようとした意図がうかがわれます。

J. Futterman 氏の報告では、このアンプの電力利得は、入力電圧が6Vのとき出力10W($R_L=16\Omega$)が得られ、そのときのIMひずみ率は0.5%、負帰還量はじつに43dBにもなるということです。アンプとしての性能は以上のとおり、きわめてすぐれたものを持っていますが、ただこの設計をわが国でそのままネーするには、多くの問題を生じます。

まず第1に、このアンプの電

力利得がたいへん低いことで、ドライブに6Vもの無ひずみ最大出力を要するとすれば、これは普通一般のプリアンプではダメで、中間増幅段をもう1段余計に必要とする不便をともないまい。ただ負帰還量が43dBもあるので、かりにこれを37dBに減じたとすれば、入力電圧は3Vに低下し、さらに負帰還量をもう6dB減じて31dBとすれば、入力電圧は1.5Vとなり、このていどの値ならいちおう使用できることになりましょう。しかし、そのときのひずみ率や雑音は4倍にも増加し、この点での性能低下を考慮しておかねばならぬことになります。

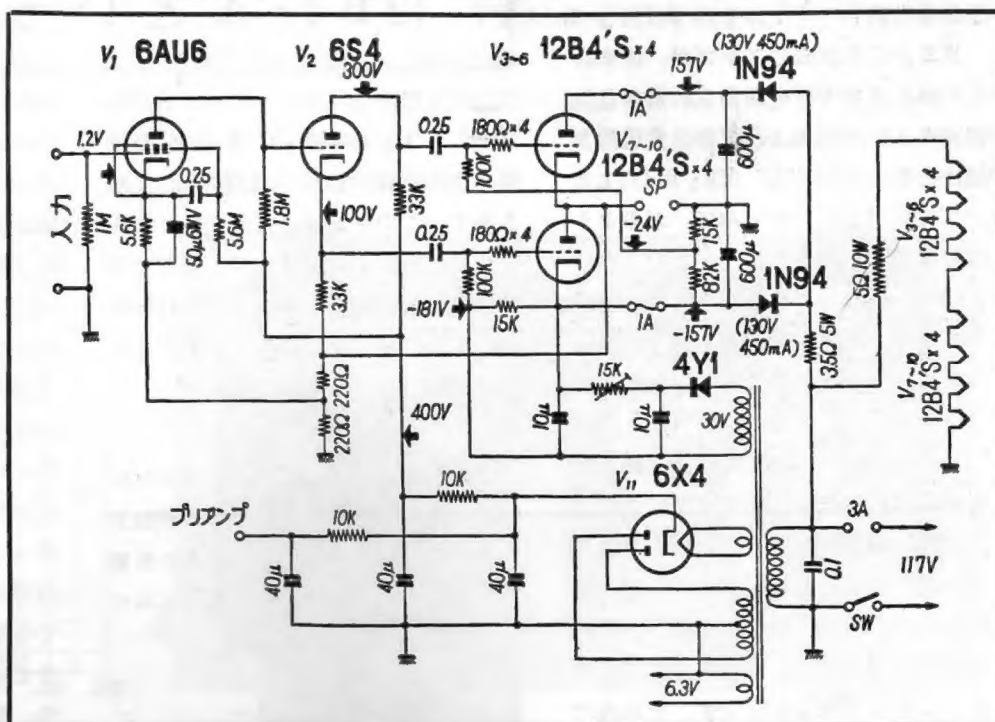
つぎに、電源電圧の問題です。原回路では117VのACラインから直接整流して、直流電圧 $\pm 157V$ を得ていますが、これをわが国のライン電圧100Vに適用すると、B電源電圧はせいぜい $\pm 130V$ ていどとなり、最大出力も7W内外に低下してしまいます。さらに困ることは、アンプがトランスレス方式となっているため、実際にいろいろな形式のプリアンプやカートリッジ

を組み合わせるばあい、ハムその他のトラブルにつきまといねばならぬこととす。

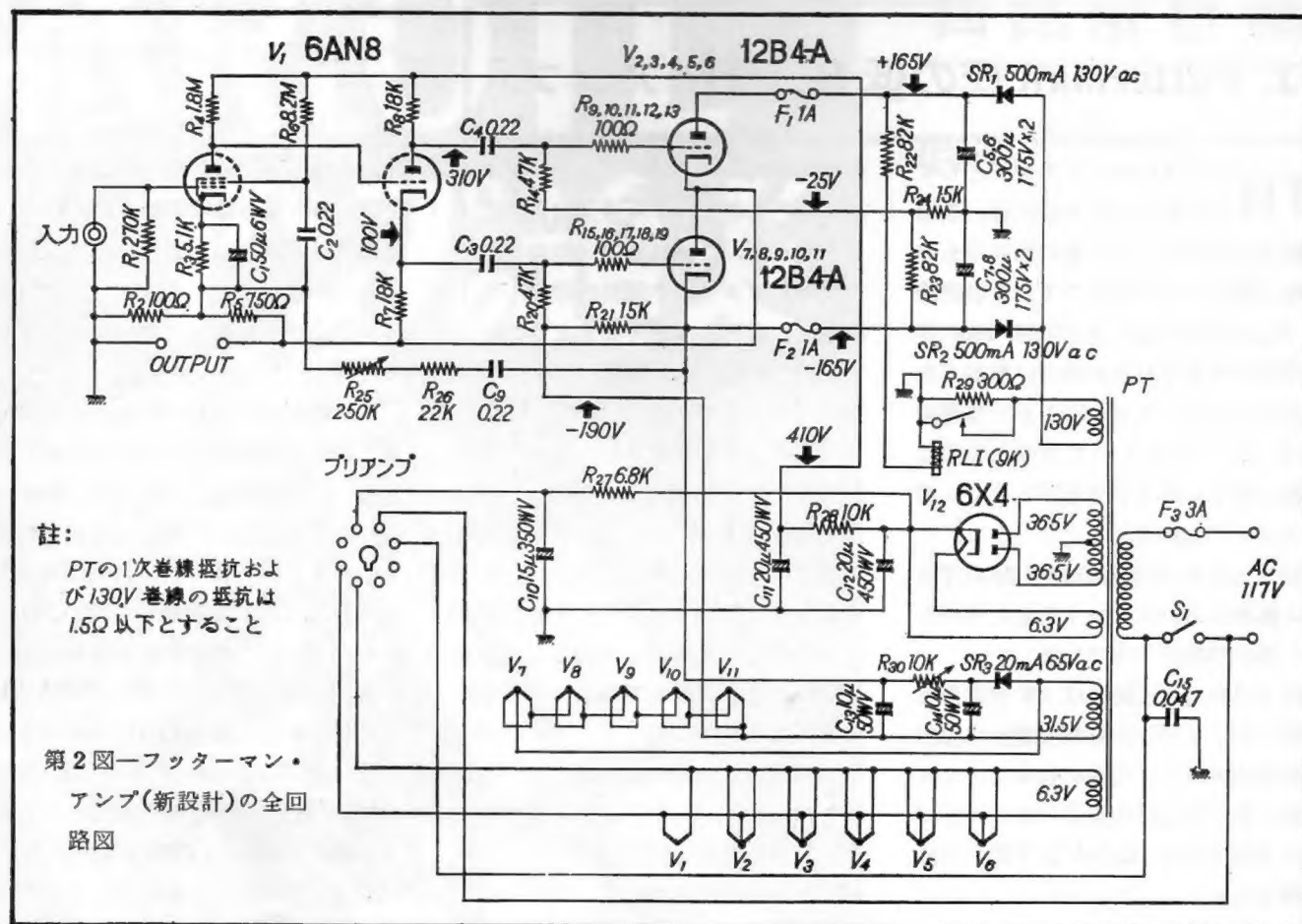
けっきょく、経済性と高性能と、すぐれた機能を同時に満足するということは、そう簡単にはいかないもので、このアンプが、わが国でほとんどかえりみられなかったのも、以上の欠点の解決がむずかしかったからにほかなりません。

これに対し、J. Futterman 氏は、第2図のような新しい設計を提案しました。この回路は Electronics World の 1959 年 5 月号(P. 69)に発表されたものです。出力管のヒータ電源およびB電源とも、PTを介して供給されているので、出力管の個数やB電源電圧が自由に選定でき、トランスレスとしての欠点からも救われることになりました(出力管のヒータのみは、直接117VのACラインから点火したほうがよいと思われる……筆者)。

負帰還量は最初の設計にくらべて少し減じられ(35dBと報告されている)、OTLアンプとしてはかなり使い易い形にあらためられています。発表された特性は、入力電圧2Vで最大出力18W内外($R_L=16\Omega$ のときのクリッピング・レベル)、そのときのIMひずみ率



第1図—フッターマン・アンプ(旧設計)の全回路図



は0.3%で、きわめてすぐれた安定性が得られるということです。この形式のアンプは、わが国でも1~2のメーカーから市販されていますが、具体的な設計や性能については、あきらかではありません。

さて、この形式のアンプが、従来われわれによって研究開発されてきた、6080あるいは6336Aなどの、大電流3極出力管を使用する、低 R_L 用OTLアンプの形式とくらべてみて、どのような得失があるだろうか……というわけですが、それを考えるまえに、このフッターマン・アンプの基本的な動作について、少し検討してみることにしましょう。

というのは、6080あるいは6336Aなどを使用する低 R_L 用OTLアンプは、大出力、高性能という点ではいちおう文句がありませんが、アンプの構成がいかに大ゲサで高価になり、比較的小規模の再生装置には不向きな形式のように考えられるからです。その点では、このフッターマン・アンプのほう

が安直で、とくに最近各管球メーカーから、小形高性能のレス用出力管がありついで発表されている状況から考え、

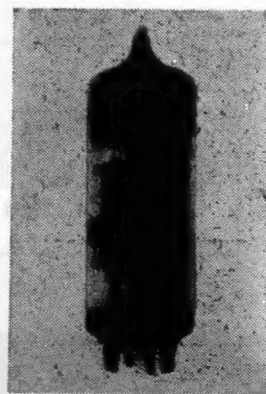
この種のタマがあんがい活用できる余地があるのではないかと考えられからです。

12B4-A という タマ

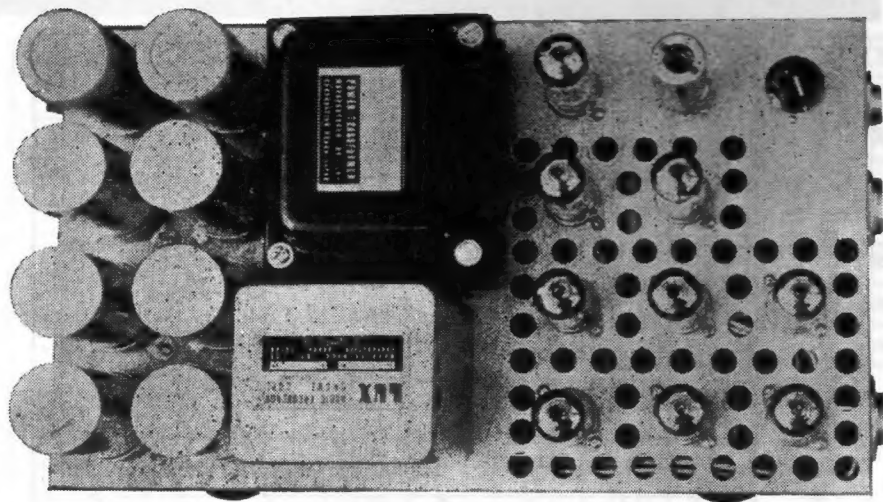
ここで、フッターマン・アンプをもっとも特徴づけている出力管、12B4-Aについて少し検討しておきます。このタマは、ご承知のとおりテレビの垂直偏向管ですが、現在では他の優秀な偏向管にとってかわられて、すでに現役をしりぞいた感があり

ます。電極構造は、ちょうど6080の片ユニットを小さくしたような、ハイ・パービアンスの3極管で、その最大定格および E_b - I_b 特性曲線は、第1表および第3図に示すとおりです。

ここで注意を要することは、第1表からもわかるとおり、許容プレート損失が非常に小さいことで($P_p=5.5W$ 、ほぼ6SN7の片ユニットに等しい)、実際にもちょっと過電流を流すと、電極が赤熱する欠点をもっています。したがって、このタマを2本や4本使ったのでは、低 R_L 用OTLアンプとしても問題になるような出力は出てくれません。しかし、タマが小さいことや、消費電力が少ない点を利用し、8本とか10本並列に使用するとそうとう



▽▽▽▽
写真は12B4-Aの外観
△△△△



〈試作機の外観〉

カソード打ち消しの動作

つぎに、このアンプでいちじるしく特徴的な点は、非常に変わった打ち消し法を採用していることです。ご承知のとおり、SEPP回路では出力段の平衡ドライブを実現するため、出力電圧を前段の位相反転管にもどす——いわゆる打ち消し回路を必要とします。そのときの打ち消し電圧は、位相反転管のプレート電源側に加えられるのが普通で、一般には大容量のコンデンサを介して結合されます。

フッターマン・アンプでは、この打ち消し電圧がPK分割形位相反転管のカソード帰路に加えられ、そのばあいの打ち消し効果は、だいたい一般のものと同大差はありません。

第5図(A)は、通常のプレート電源側に打ち消しを加えるばあい、同図(B)はカソード帰路に加えるばあいで、後者の打ち消し法を採用しているのは、むしろフッターマン・アンプのみです。同図(B)で各部の電圧の極性を図のように定めれば、0点の電位は

— E_0 、K点の0点に対する電位は E_k 、よって V_2 のスイング電圧 E_{g2} は、

$$E_{g2} = E_k - E_0 \dots\dots\dots(1)$$

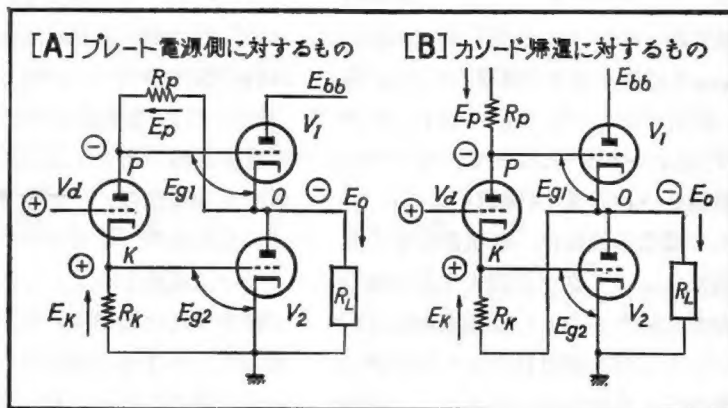
つぎに、P点の対アース電位は— E_p 、ゆえに V_1 のスイング電圧は、

$$E_{g1} = -(E_p - E_0) \dots\dots\dots(2)$$

▼▼▼▼

第5図—
位相反転
段(PK分
割)に対
する打ち
消し法

^^^

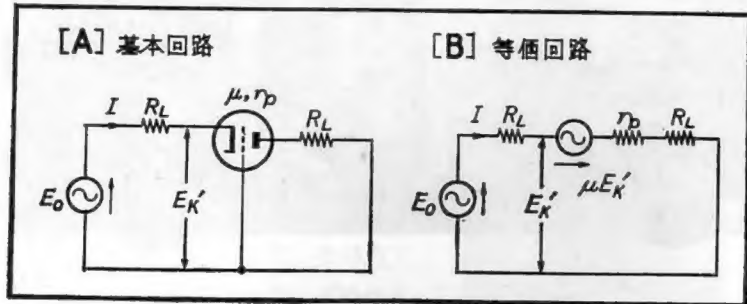


$|E_k| = |E_p|$ ですから、これを E_{dv} とすれば、

$$E_{g2} = E_{dv} - E_0 \dots\dots\dots(3)$$

$$E_{g1} = -(E_{dv} - E_0) \dots\dots\dots(4)$$

となって、 V_1 、 V_2 は平衡ドライブの条件が満足されます。



▼▼▼▼

第6図—
カソード
打ち消し
等価回路

^^^

さらに第6図(A)は、PK分割形位相反転回路のカソード帰路に、 E_0 なる打ち消し電圧を挿入したときの等価回路で、 $R_k = R_p \equiv R_L$ とし、 μ 、 r_p は位相反転管の増幅度およびプレート内部抵抗です。この回路は同図(B)のように書きあらためることができ、 E_0 によってK点およびP点にあらわれる電圧 E_k' 、 E_p' は次式であらわされます。

$$E_k' = \frac{r_p + R_L}{r_p + (Z + \mu)R_L} E_0 \dots\dots\dots(5)$$

$$E_p' = \frac{(1 + \mu)R_L}{r_p + (Z + \mu)R_L} E_0 \dots\dots\dots(6)$$

上の2式を比較してみると、 $E_p' = E_0 - E_k'$ の関係があり、このことは打ち消しによってプレート側、カソード側に E_k' にひとしい負帰還電圧が生じることを意味します。このときの負帰還率を β とすれば、

$$\beta = \frac{r_p + R_L}{r_p + (Z + \mu)R_L} \dots\dots\dots(7)$$

となり、この打ち消し回路を付したときの位相反転段のみかけの増幅度 A_1' は、

$$A_1' = \frac{A_1}{1 + A_2 \beta} \dots\dots\dots(8)$$

となります。ここでは、 A_1 は打ち消しを加えないときのPK分割形位相反転段の増幅度、 A_2 はSEPP回路の出力段の増幅度です。

ここで注意を要することは、(8)式の形は、通常のプレート打ち消しのばあいと変わりありませんが、(7)式の β はプレート打ち消し(PK分割形に関し)のときの式、

$$\beta = \frac{R_L}{r_p + (Z + \mu)R_L} \dots\dots\dots(9)$$

にくらべて、分子に真空管のプレート

その他の問題点

a) 初段管に高いプレート抵抗を使用することの可否

高増幅5極管の増幅率(μ)やプレート内部抵抗(r_p)は、きわめて高いので、プレート負荷抵抗を増加すれば、増幅度をいくらかでも増大することができます。この方法は、いわゆるスターベーション回路として知られ、低いプレート電圧と、低いスクリーン・グリッド電圧で使用するのが特徴です。

ただこの方法の最大の欠点は、増幅管のプレート出力インピーダンスがいちじるしく高くなるため、出力容量の影響が大きくなって、高域の周波数特性がいちじるしく悪化することです。この点はあとで実験の項でお目にかけますが、よほど多量の負帰還をかけないかぎり、高域のひずみ率改善が十分ではありません。

b) B電源の接地方式

まえにも述べたとおり、フッターマン・アンプの第1B電源は、中性点が直接接地されています。したがって、上下両出力管に不平衡があると、不平衡電流が負荷抵抗を貫流します。

この電流が一定不変のばあいは、スピーカのボイス・コイルに一定のバイアスを加えたことになり、コーンの定

位が狂うていどで、さほど重大な障害は生じません。

しかしこの不平衡電流は信号の大小やライン電圧の変動、あるいは真空管の熱的状態や劣化によって、非常に不規則に変動する性質をもっています。とくに信号によって不平衡電流が動くばあいは、とうぜん超低域ひずみと同様の性質をおび、このひずみは負帰還ではまったく改善されません。

しかも、これは普通の定常状態でのひずみ率測定では、まったく補正することが困難です。

試作機のアウトライン

以上が、フッターマン・アンプの原設計に対する主要な問題点ですが、理屈はともかく、実際にどのような動作となりどのような特性を示すかは、実機について検討するのが確実です。

そこでまず、第9図に示すような試験アンプを試作して、各種の実験をこころみることにしました。試験アンプの設計の詳細やその改善方法などについては、次号以下に紹介することにして、(つづく)

